

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

ПЕТРЕНКО ТЕТЯНА ГРИГОРІВНА

УДК 658.012.011.56

**СИТУАЦІЙНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ НА БАЗІ  
БАГАТОРІВНЕВИХ МОДЕЛЕЙ УЯВЛЕННЯ ЗНАНЬ**

05.13.03 - системи та процеси керування

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків 1999

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Донецькому державному університеті радіоелектроніки Міністерства  
освіти України

Науковий керівник -доктор технічних наук, доцент Каргін Анатолій Олексійович,  
Донецький державний університет, завідуючий кафедрою  
комп'ютерних технологій

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент Самсонкін Валерій Миколайович,  
Харківська державна академія залізничного транспорту, декан  
факультету автоматики телемеханіки та зв'язку;

кандидат технічних наук, доцент Удовенко Сергій Григорович,  
Харківський державний технічний університет радіоелектроніки,  
доцент кафедри ЕОМ

Провідна установа: Харківський державний аерокосмічний університет ім.  
М.Є.Жуковського "ХАІ" Міністерства України

Захист відбудеться "30" листопада 1999 року о 14 годині на засіданні спеціалізованої  
вченої ради Д 64.052.02 при Харківському державному технічному університеті  
радіоелектроніки за адресою: 310726, м. Харків,  
пр. Леніна, 14.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Харківського державного технічного  
університету радіоелектроніки за адресою:

310726, м. Харків, пр. Леніна, 14.

Автореферат розісланий " 29 " жовтня 1999 року

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

Безкоровайний В.В.

## **ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

### **Актуальність теми**

Останнім часом розвиток теорії і практики систем автоматичного управління іде шляхом створення інтелектуальних САУ. З'єднання штучного інтелекту з теорією і практикою автоматичного управління призвело до формування наукового напрямку - теорії інтелектуальних машин. Більшість наукових досліджень і промислових реалізацій інтелектуальних машин (ІМ) присвячене створенню інтелектуальних і нечітких регуляторів. Широке практичне застосування знаходять активні експертні системи при управлінні складними багаторівневими об'єктами.

Сучасні інформаційні технології та розробки в галузі штучного інтелекту розширюють коло задач керування складними багаторівневими об'єктами. Засоби ситуаційних інтелектуальних машин (СІМ), як напрямок теорії ІМ, вже знайшли практичне застосування в різних галузях: в машинобудуванні при створенні автоматичних ліній та безлюдних виробничих дільниць, а також робототехнічних комплексів; під час рішення екологічних задач; в системах управління міським електротранспортом; в управлінні гірками на залізничних сортувальних станціях. Інтелектуалізація систем керування дозволяє поліпшити характеристики надійності та техніко - економічні показники таких систем. Підвищення ефективності вирішення задач управління в умовах неповної інформації про характеристики об'єкту управління вимагає подальших досліджень у галузі формалізованого подання знань про ситуації в СІМ, розробці моделей і засобів обробки ситуації та ситуаційного управління.

Науковою підставою досліджень є роботи Алієва Р.А., Бодянського Є.В., Волковича В.Л., Євсєєва О.В., Заде Л.А., Попова В.Е., Пупкова К.А., Руденко О.Г., Сіроджі І.Б., Тимофєєва А.В., Філіппенко І.Г., Шостака В.Ф., Harris С.І., Hirota К., Hussu А., King К.-Н., Mahmoud М., Mamdani Е.А., Yang Н. у галузі активних експертних систем і інтелектуальних САУ; Горькова Л.М., Каргіна А.О., Кликова Ю.І., Меліхова А.М.,

Орловського М.О., Поспелова Д.О. у галузі ситуаційного управління; Вагіна А.М., Ісідзука М., Осуга С., Самсонкіна В.М., Уэно Х. у галузі отримання, подання і моделювання експертних знань.

Роботи цих та багатьох інших авторів створили методичні та теоретичні передумови подальшого розвитку теорії СІМ. Обмеженням наведених в літературі моделей СІМ є відсутність механізму створення моделей поточних ситуацій, та їхня статична природа. Вигляд і властивості моделей опису знань про динамічні характеристики ситуацій не освітлені. Розглянуті особливості сучасного етапу досліджень у галузі СІМ, дозволяють визначити актуальною науково - технічну задачу, що полягає в подальшому удосконаленні і розробці СІМ на основі багаторівневих статичних і динамічних моделей подання і обробки ситуації.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами** Дисертаційна робота виконана згідно з держбюджетною темою Донецького державного університету “Дослідження і розробка моделей подання і обробки знань в ситуаційних системах управління реального часу”, включеної до координаційного плану №10 “Розробка теорії, засобів, моделей і алгоритмів для створення інтелектуальних систем обробки інформації” напрямку “Технічна кібернетика” науково - технічної програми “Перспективні інформаційні технології, прилади комплексної автоматизації і систем зв'язку”.

#### **Мета і задачі дослідження**

Метою дисертаційної роботи є метод ситуаційного управління реального часу на базі багаторівневих моделей подання статичних і динамічних характеристик ситуацій. Для досягнення цієї мети були поставлені наступні задачі:

1. Розробити механізм ситуаційного управління для інтелектуальних машин на базі багаторівневих структурованих моделей подання і обробки ситуацій, для чого визначити базовий набір операцій побудови фрагментів ситуацій шляхом знаходження нечітких множин, індукційованих відображенням. Ввести моделі подання знань про структуру ситуацій, висловивши їх через параметри операцій індукційовання.

2. Побудувати механізм ситуаційного висновку, як операцію автоматичної побудови багаторівневої структурованої моделі ситуації.

3. Розробити моделі подання і обробки динамічних властивостей ситуацій до СІМ, для чого ввести нечіткі множини з багатокомпонентними функціями приладдя.

Побудувати модель ситуаційної інтелектуальної машини з такими функціями приладдя. На їхній основі:

3.1. Досліджувати динамічні моделі СІМ з кінцевими різницями і сумами функцій приладдя.

3.2. Розробити і досліджувати стратегії ситуаційного висновку на динамічних базах знань.

4. Розробити методіку синтезу ситуаційного управління. Досліджувати засіб подання динамічних властивостей ситуацій якісними оцінками подій (точкових і інтервальних), відношень між подіями і процесами.

5. Перевірити запропонований метод ситуаційного управління у конкретній предметній області - управління швидкістю скочування відчепів на залізничних гірках сортувальних станцій.

#### **Наукова новизна одержаних результатів**

1) Був вдосконалений і отримав подальший розвиток метод ситуаційного управління реального часу, у якому інтегровані:

а) ситуаційне семіотичне управління, що описує алгоритми і закони управління на якісному рівні; б) механізм висновку у реальному часі моделі ситуації у вигляді лінгвістичних якісних структур за показниками датчиків.

2) Вперше, на основі запропонованого в роботі набору операцій індуційовання нечітких множин, формалізоване ситуаційне управління, що включає три механізми висновку: багаторівневої структурованої моделі поточної ситуації; управляючого рішення за лінгвістичними правилами; коду управління з його лінгвістичного опису.

3) Вперше введена динамічна нечітка множина з багатокomпонентною функцією приналежності; побудовані якісні оцінки динамічних властивостей ситуації на основі зворотних різниць функцій приладдя.

4) Запропоновано метод синтезу ситуаційних систем управління з багаторівневими моделями ситуацій.

Об'єкт дослідження - складні слабо формалізовані технічні комплекси. Предметом дослідження є засоби автоматичного управління складними багаторівневими об'єктами, зокрема ситуаційного управління реального часу.

При розв'язанні задач використані методи досліджень, засновані на математичних

апаратах: теорії інтелектуальних машин, теорії керування, теорії штучного інтелекту, теорії нечітких множин, теорії графів і логічного моделювання.

### **Практичне значення одержаних результатів**

СІМ на основі багаторівневих моделей покладена до основи підсистеми подання і обробки знань інструментального комплексу, призначеного для генерації ситуаційних інтелектуальних машин (КОБЗА-СІМ). Комплекс КОБЗА-СІМ, розроблений у Донецькому державному університеті на кафедрі комп'ютерних технологій, переданий до досвідченої експлуатації Донецькому інституту інженерів залізничного транспорту, Інституту прикладної математики та механіки НАН України, СКТБ при ДонДУ, а також впроваджений в учбовий процес на кафедрі комп'ютерних технологій ДонДУ.

### **Особистий внесок здобувача**

Основні результати роботи одержані автором особисто. Здобувач розробив: у роботах [2,3,6,8] - формалізм подання операцій індукційовання, структуру подання і операції обробки правил індукції і продукції, формальне визначення статичних і динамічних властивостей ситуацій; у роботах [1,7] - технологію синтезу знань про структуру ситуації у вигляді правил індукції і приклади опису фрагментів ситуації, які використані при управлінні швидкістю скочування відчепів; у роботі [5] - приклади ситуаційних машин у виробництві.

### **Апробація результатів дисертації**

Основні наукові результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на міжнародній школі - семінарі "Перспективні системи управління на залізничному, промисловому і міському транспорті" (Алушта, 1996-1999 роки), четвертій міжнародній науково - технічній конференції "Контроль і управління в технічних системах" (Вінниця, 1997 рік), шостій українській конференції "Автоматика - 99" (Харків, 1999 рік).

### **Публікації**

По результатам роботи опубліковано дев'ять наукових праць, серед яких дві статті у наукових журналах, чотири статті у збірниках наукових праць та вісниках і три в матеріалах конференцій.

### **Структура і об'єм роботи**

Дисертація містить 150 сторінок, 39 рисунків, 1 таблицю, об'єднаних в структуру, що включає: вступ, 4 розділи, висновки, список використаних джерел з 120 найменувань,

додаток.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**Вступ** містить обґрунтування актуальності теми, формулювання мети і основних задач досліджень, характеристику новизни і практичній цінності одержаних результатів, відомості про апробацію та публікації основних наукових положень, що виносяться на захист.

**В першому розділі** на основі аналізу властивостей інтелектуальних машин (ІМ) дається їх класифікація з точки зору складності систем управління і формулюється задача синтезу ІМ. Показано, що до основи інтелектуальних машин для складних об'єктів може бути покладене ситуаційне управління, що базується на наступних принципах. Ситуаційна інтелектуальна машина (СІМ) на першій фазі одержує інформацію про ситуацію через канали зв'язку від датчиків і на основі знань  $\Pi_1$ , що зберігаються у БЗ, будує її модель. Механізм висновку на другій фазі обробляє модель поточної ситуації з метою визначення керуючого рішення. Останнє представлено на мові опису моделі ситуації. На третьому етапі ситуаційного управління механізм  $F_3$  перетворює опис управління, що є фрагментом моделі, до конкретного значення кодів, що передаються на виконавчі механізми:

$$, \quad (1)$$

де  $F_1$  - механізм побудови моделі ситуації (перша компонента ситуаційного управління, що робить висновок нових знань, які не можна безпосередньо витягти з контрольно-вимірювальної інформації);  $F_2$  - механізм прийняття управляючого рішення (друга компонента, яка із моделі поточної ситуації робить висновок про управління).

Обґрунтовуються переваги засобів ситуаційного управління при проектуванні СІМ шляхом подання моделі ситуації нечіткими множинами.

Для процесу скочування відчепів на сортувальних залізничних гірках виконаний аналіз підходів і засобів рішення задачі управління. Задача управління віднесена до класу СІМ. Розглядаються існуючі моделі СІМ і задачі її синтезу. Обґрунтовується актуальність

синтезу динамічних СІМ. Моделі подання ситуацій пропонується будувати на базі структурованої багаторівневої нечіткої множини, а механізм ситуаційного висновку - згідно з принципами нечіткого ситуаційного висновку. На основі аналізу моделей СІМ сформульовані задачі досліджень.

**Другий розділ** містить опис СІМ на базі моделей подання і обробки статичних властивостей ситуації. Місце СІМ в інформаційно -керуючій системі припускає формування фадзіфікатором моделі ситуації нульового рівня - нечіткої множини . Розглянуті механізми побудови . Стан об'єкту управління і оточення кожного моменту часу є моделлю ситуації, поданої структурованою нечіткою множиною:

$$, \quad (2)$$

де - моделі ситуації першого, другого і т.д., го рівнів узагальнення, причому окремі фрагменти множини формуються за індукційними правилами з бази знань шляхом обчислення нечітких множин, індукційованих відображенням. Систематизоване індукційовання відображеннями MIN, MAX, MAX-MIN, наведеними в літературі, показана обмеженість їх області застосування до СІМ, які опрацьовують тільки структурно відмінні класи ситуацій. Обгрунтовано введення механізмів індукційовання для параметрично відмінених класів ситуацій, які названі умовними.

$$\text{Умовне MAX-індуційовання} \quad (3)$$

$$\text{Умовне MIN індуційовання}$$

$$\text{Умовне MAX-MIN- індуційовання}$$

$$\text{Умовне SUM- індуційовання}$$

де - функція приладдя нечіткої оцінки приналежності фрагмента поточної ситуації до

класу ситуацій .

Ситуаційний висновок на першій фазі управління - операції умовного індуційовання (3) - базується на класифікації, котра виконується по характеристиці близькості двох нечітких множин. Степінь близькості нечіткої множини , яка є еталоном класу ситуацій, та нечіткої множини , яка представляє дійсну ситуацію, оцінюється, як звичайна множина -рівня, найближча до нечіткої:

$$, \quad (4)$$

де - абсолютна різниця двох нечітких множин, для яких .

Введення такої оцінки дозволило гнучко задавати класи ситуацій безпосередньо в правилах індуції, які виражені через операції умовного індуційовання і мають вигляд:

$$(5)$$

Застосування правила (5) до множини шляхом індуційовання формує нечітку множину, що є описом ситуації на якісному лінгвістичному рівні.

В роботі наведені операції продукції двох типів, які побудовані на базі введених операцій індуційовання

$$; \quad (6)$$

$$, \quad (7)$$

де , - фрагменти поточної ситуації та управління, відповідно;

- етalon управління;

- нечітка множина, індуційована за правилом ;

$$(8)$$

Продукція (6) є традиційне правило заміни фрагмента ситуації на фрагмент , якщо поточна ситуація належить до класу . Продукція по правилу (7) є механізм посилення функції приладдя при умові, що належить до класу . Це дозволило розповсюдити

однорідний математичний апарат індукційовання на усі три механізми ситуаційного управління.

**В третьому розділі** розглядаються моделі ситуаційного управління, зважаючи на динамічні властивості. При синтезі лінгвістичних засобів управління оперують різного роду якісними характеристиками, що використовуються людиною. Прикладами знань про динамічні властивості ситуацій є:

1. Відношення часу на послідовності точкових або інтервальних подій типу *подія А відбулася трохи раніше, ніж подія Б*, або події **Б** і **В** *з'явилися майже одночасно*.

2. Динамічні характеристики процесів типу *процес А виконується дуже повільно (швидко)*.

3. Динамічні характеристики відношень, заданих на процесах типу *процес А виконується швидше, ніж процес Б*.

В дисертації запропонований новий підхід до подання знань про динамічні характеристики такого роду і формалізований механізм  $F_1$  автоматичного формування в реальному часі моделі, що описує ситуацію такими якісними характеристиками.

З метою збереження однорідності апарату подання знань, які використовуються механізмом для формування структурованої моделі поточної ситуації, розглянуті в другому розділі СІМ розповсюджені на клас систем з пам'яттю. З кожним елементом  $c$  статичної моделі зв'язується не одна компонента функції приналежності, а  $n+1$ :

$$, \quad (9)$$

де  $\mu_c(t)$  - значення функції приналежності до поточного часу  $t$ ,  $\mu_c(t-T)$  - в момент часу  $(t-T)$ ;  $\mu_c(t-2T)$  - в момент часу  $(t-2T)$  і т.д.;  $\mu_c(t-nT)$  - функції приналежності в момент часу  $(t-nT)$ , де  $n$  - глибина пам'яті системи.

Модель динамічної ситуаційної системи управління включає:

1. Структуровану динамічну нечітку множину з багатокомпонентною функцією приналежності (БФП), що характеризує ситуацію на поточний, попередній і так далі моменти часу.

$$, \quad (10)$$

2. Динамічну базу знань , до якої включені індукційно - продукційні правила розрахунку динамічних нечітких множин . В загальному вигляді динамічне правило аналогічно статичному (5) має вигляд:

$$\mu_{\Gamma}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \min(\mu_{\Gamma_{\text{MIN}}}, \mu_{\Gamma_{\text{MAX}}}, \mu_{\Gamma_{\text{MAX-MIN}}}, \mu_{\Gamma_{\text{SUM}}}, \mu_{\Gamma_{\text{Prod}}}) \quad (11)$$

де  $\mu_{\Gamma}$  - одне з відображень  $\Gamma_{\text{MIN}}, \Gamma_{\text{MAX}}, \Gamma_{\text{MAX-MIN}}, \Gamma_{\text{SUM}}, \Gamma_{\text{Prod}}$  із двумірною областю відправлення ( $g$ -та компонента  $p$ -го елемента) і одновимірною областю прибуття ( $0$ -ва компонента  $g$ -го елемента);

$\mu_{\Gamma}$  - еталон, що описує клас ситуацій, наведений фрагментом динамічної нечіткої множини  $i$ -го рівня.

При такому підході операція динамічного індукційовання аналогічна статичному індукційованню. Особливість обчислення полягає в тому, що заздалегідь обробляються ненульові компоненти індукційованої функції приналежності.

Аналогічно тому, як це прийняте в теорії систем автоматичного керування, введені кінцеві зворотні різності і повні суми функції приналежності для БФП. Наприклад, перша зворотна різність

$$\mu_{\Gamma_{\text{MIN}}}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \min(\mu_{\Gamma_{\text{MIN}}}, \mu_{\Gamma_{\text{MAX}}}, \mu_{\Gamma_{\text{MAX-MIN}}}, \mu_{\Gamma_{\text{SUM}}}, \mu_{\Gamma_{\text{Prod}}}) \quad (12)$$

Якісні оцінки динамічних властивостей введені на універсальній множині значень зворотних різностей. Терм- множина

$$\mu_{\Gamma_{\text{MIN}}}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \quad (13)$$

має наступну інтерпретацію: - практичне має нульове значення ; - позитивне мале значення; - позитивне середнє значення; - позитивне велике значення; - відповідно для від'ємних значень.

Функція приналежності є суб'єктивною оцінкою, значення якої, окрім цього, викривляється при її формуванні механізмом ситуаційного висновку при обробці за правилами індукції. Викривлення не є систематичними. Ці зауваження зумовили

необхідність вступу особливої процедури фазіфікації для опанування . На підставі аналізу динаміки конкретних фрагментів ситуацій визначаються дві функції: за допомогою якої характеризується впевненість в тому, що за один крок часу можливо отримати значення  $i$  для характеристики того, що зворотну різницю можна обчислювати не традиційно до інтервалів часу  $T$ , але і до інтервалів  $rT$ . Функція приналежності лінгвістичної оцінки для фактично знайденого значення зворотної різниці знаходиться:

$$, \quad (14)$$

де - функція приналежності оцінки , задана розробником на множині можливих значень зворотної різниці.

Динамічне правило (11) для цього класу моделей записується у вигляді:

$$, \quad (15)$$

де -г-та компонента елемента динамічної нечіткої множини.

Отримана методика вибору глибини пам'яті, виконана оцінка обчислювальних ресурсів. Показано, що для запропонованої в роботі організації динамічних моделей, обсяг пам'яті, порівняно із статичними збільшується на 10-15%, обсяг обчислень - на 1.5%

Досліджені стратегії ситуаційного висновку у динамічних базах знань. В загальній нагоді, база знань ситуаційній системи управління конкретним об'єктом може включати як статичні, так і динамічні правила; як правила індукції, так і правила продукції. Не дивлячись на таку різноманітність, завдяки однорідності апарату, структуру БЗ можна представити у вигляді мережі індукції, в якій вершинам відповідають фрагменти класів ситуацій, до яких використовують правила, а дугам - правила. Запропонована і досліджена ефективна стратегія, застосована на динамічному виділенні фрагменту БЗ, що містить "підозрілі" правила. Фрагмент визначається виходячи з ситуації. За швидкістю дії алгоритм до 15 разів ефективніше повного перебору правил БЗ.

**В четвертому розділі** дане визначення абстракцій структурних елементів, на яких будується багаторівнева модель ситуації - об'єкти, події, процеси та їх відношення.

Приводиться множина структурних елементів предметної області управління скочуванням відчепів.

Вся множина *об'єктів* розбита на дві групи: відчеп, стан якого характеризує параметри конкретного відчепу та оточення, що характеризує стан і параметри зовнішніх умов до цього відчепу. До групи відчепів включені об'єкти: швидкість скочування відчепу, маса відцепа, довжина відчепа, ходові характеристики відчепа, геометричні характеристики відчепа, вміст вагонів відчепу, дистанція до найближчого відчепу, стан і статус відчепу. В повній моделі ситуації кількість об'єктів повинна дорівнювати числу відчепів в обробці у довільний момент часу. Залежно від конкретної гірки це число варіюється в межах від 80 до 300. Друга група є більш “багатою” за складністю структур, ніж перша. До неї виділені наступні об'єкти: заповнення підгірочного шляху, наявність “вікон” в групі відчепів підгірочного шляху, статичний опір руху відчепу, технічний стан шляху, стан атмосфери, що відбиває силу і напрямок вітру, температуру, опади, ожеледь та інші.

До *подій*, що використовуються СІМ управління швидкістю скочування відчепів, віднесені: наїзд відчепу на гальмову позицію вагонозамідлювача, наїзд/з'їзд відчепа на датчики рельсових шляхів, переклад стрілок, співудари відчепів, відмови апаратури контрольно-вимірювальних приладів.

*Відношення*, що використовуються у правилах управління режимами гальмування, наступні: відстань між сусідніми відчепами, що скочуються (просторове); часові відношення між подіями -раніше, пізніше, одночасно і далі; відмови апаратури контролю заповнювання шляху (КЗШ) - відношення між подіями наїзду на датчики.

Динамічні властивості *процесів* - скочування відчепу і гальмування відчепу- впливають на правила гальмування.

Для кожного з перерахованих структурних елементів наводяться правила індукції, що описують їх; графічне подання, що ілюструє структуру елемента, і даються приклади формування механізмом ситуаційного управління моделі ситуації за правилами.

Наведено приклад об'єкту при врахуванні відмов в системі КЗШ “вікна підгірочного шляху”, стан якого залежить від наявності “вікон” в групі відчепів підгірочного шляху. Прояв відмов полягає в тому, що або при наявності відчепу на *i*-й рельсової дільниці система КЗШ формує сигнал  $\mu^{(0)c_i}=0$ , або, навпаки, при відсутності відчепу надходить

сигнал  $\mu(0c_i)=1$ . З урахуванням збою модель ситуації ідентифікується неоднозначно. По-перше, це може бути ситуація, відповідна наявності “вікна” при дієздатності системи КЗШ, або ситуація відповідна збою в системі КЗШ. Швидкість виходу відчепу з гальмової позиції Ш повинна бути вище при наявності “вікон”. Тому, в автоматичному режимі система ситуаційного управління швидкістю розпуску повинна розрізняти ці ситуації. Дієздатність системи КЗШ<sub>i</sub> пропонується визначати в динаміці в процесі скочування відчепів. Очевидно, що при скочуванні відчепу він послідовно минає рельсові дільниці РД<sub>i+1</sub>, РД<sub>i</sub>, РД<sub>i-1</sub> при умові, що вони не зайняти іншими відчепами. Нехай до моменту часу  $t_1$  відчеп, наїджаючи на РД<sub>i+1</sub>, формує зміну значень функції приладдя з  $\mu(0c_{i+1})=0$  у  $\mu(0c_{i+1})=1$ . Аналогічно відбувається у момент часу  $t_2 > t_1$  на рельсовій дільниці РД<sub>i</sub>, та в момент часу  $t_3 > t_2$  на РД<sub>i-1</sub>. Якщо зафіксована послідовність означених подій до  $t_1$ ,  $t_2$  і  $t_3$  (визначені три події і часові відношення між ними), то можна визначити стан об'єкту, як працездатність РД<sub>i</sub>. Якщо ж зафіксована інша послідовність подій, наприклад, до  $t_1$  від РД<sub>i+1</sub> і до  $t_2$  від РД<sub>i-1</sub>, але не було події зміни значення  $\mu(0c_i)=0$  в  $\mu(0c_i)=1$ , тоді можна затверджувати, що апаратура РД<sub>i</sub> відмовила. Оскільки відчепи рухаються з різною швидкістю, інтервали часу  $\Delta_1=t_1-t_2$  та  $\Delta_2=t_2-t_3$  різні. Їхнє значення вар'юється для різних відчепів. Тому необхідно спиратися на нечіткі розмиті інтервали. Структура фрагменту ситуації, на якому будується визначення об'єкту “вікна підгірочного шляху” має п'ять рівнів:

(16)

Введені наступні елементи:  $0c_i$  описує показники системи КЗШ<sub>i</sub>;  $1c_i$  описує статус події наїзду відчепу на  $i$ -ту рельсову дільницю;  $2c_i$  описує статус часового відношення про те, що раніше на інтервалі часу  $[t-T, t-nT]$  мала місце подія наїзду відчепу на  $i$ -ту рельсову дільницю;  $3c_i$  описує статус об'єкту “відмова РД<sub>i</sub>”;  $4c_i$  описує вікно розміром  $j$  рельсових дільниць, які безпосередньо ліворуч від РД<sub>i</sub>;  $5c_i$  описує якісну оцінку розміру вікна (немає, мале, велике, дуже велике). Нижче наведено правило, що дає визначення об'єкту “відмова РД<sub>i</sub>”. У правилі (17) події наїзду відчепів на рельсові дільниці на першому рівні моделі визначаються з урахуванням зворотних різниць першого порядку.